

L'Histoire de la construction et l'histoire des sciences

Joël Sakarovitch

Branche spécifique de l'histoire des techniques, l'histoire de la construction entretient avec l'histoire des sciences des rapports complexes dont l'analyse permet à la fois de situer la discipline qui nous intéresse ici et d'ouvrir des pistes possibles de recherche.

1. Des rapports asymétriques

Quand les historiens des sciences présentent leur discipline, la première impression qui se dégage est qu'ils ignorent l'histoire de la construction, peut être à juste titre d'ailleurs.

Pour tenter d'appréhender cet état de fait, nous avons réalisé une sorte de test, qui ne prétend aucunement donner une image « objective » à travers un « sondage statistique représentatif », mais semble néanmoins symptomatique de la situation. Nous avons utilisé pour ce faire les *Éléments d'histoire des Sciences* de Michel Serres, ouvrage publié en 1990 qui contient une « Chronologie » établie par Michel Autier. Bien sûr l'Encyclopédie coordonnée par René Taton¹, aurait fourni un ouvrage couvrant de façon beaucoup plus exhaustive l'histoire des sciences, tant par les sujets abordés que par les périodes couvertes. Mais cette encyclopédie ne comporte pas de chronologie, qui constitue un élément synthétique indispensable pour mener le test voulu. De plus, précisément parce qu'il n'y a aucune prétention encyclopédique dans l'ouvrage de Serres, il est sans doute plus représentatif d'une certaine idée de l'histoire des sciences à une époque donnée.

Notons qu'en préambule à cette chronologie, Michel Autier, qui souligne combien l'exercice est

délicat, cite explicitement les sources qu'il a utilisées pour établir cette liste et parmi celles-ci, les historiens des techniques sont bien représentés, citant en particulier les ouvrages et les chronologies elles-mêmes établies par François Russo, Maurice Daumas, ou Bertrand Gille.

Outre une page réservée à la Haute Antiquité, la Chronologie (14 pages) s'étend de -750 à 1945, avec une présentation sur trois colonnes :

Les créations scientifiques/les acteurs individuels et collectifs/les éléments pour un décor.

Il y a environ 600 items dans la première colonne, qui représente le cœur de l'histoire des sciences. Dans cette colonne, l'histoire de la construction est « présente » huit fois sur 600, (en comptant la géométrie descriptive qui nous est chère, mais que tout le monde n'aurait peut être pas considéré comme faisant partie de l'histoire de la construction) :

- les *Dix livres d'architecture* de Vitruve (et Vitruve en colonne 2),
- Sainte Sophie et (Isidore de Millet en 2),
- en 1430, un traité de mécanique sur les moulins hydrauliques,
- Galilée et le *Discours sur deux sciences nouvelles* 1638,
- Varignon : la composition des forces en statiques 1688,
- le traité des fortifications de Vauban 1705,
- le traité d'architecture hydraulique de Bélidor,
- le début de la géométrie descriptive par Monge en 1769².

Dans la deuxième colonne, on trouve quelques noms (outre ceux cités ci-dessus) qui ne sont pas

étrangers à l'histoire de la construction, comme ceux de Desargues, Claude Perrault, de La Hire, Euler, Lagrange ou Coulomb. Mais ces « héros » communs ne sont pas signalés au titre de leur participation à l'histoire de la construction. Par exemple si Philippe de La Hire est cité, son traité de mécanique, dont on sait la place qu'il tient dans l'histoire de la construction, ne l'est pas. Pour compléter le tableau, il faut ajouter que sont signalées dans cette deuxième colonne, la création de l'École polytechnique et celle des Arts et métiers, « institutions communes » aux « deux histoires ».

Sans être totalement absente de la troisième colonne, l'histoire de la construction y est également fort peu présente, au point où l'on peut se demander si elle fait ou non partie du « décor ». Sur plus de 1 100 items que comporte cette colonne, une quinzaine y appartiennent, du percement du tunnel de Samos par Eupalinos à la construction de la Tour Eiffel.

Pourraient être ajoutés à cette liste quelques éléments qui appartiennent à l'urbanisme ou aux travaux publics (le début des grands travaux d'Haussmann en 1853, le canal de Suez en 1869 ou début du percement du canal de Panama en 1880), mais qui sont notés plutôt pour leur valeur économique ou politique. De même un certain nombre de bâtiments sont notés, comme le Parthénon, Notre-Dame de Paris, la mosquée du Shah d'Ispahan, « le tabernacle du Bernin à Saint Pierre » (mais Saint Pierre n'y est pas), le château de Vaux-le-Vicomte, les Invalides par Hardouin-Mansart, ... Mais ces bâtiments apparaissent plus comme des balises, des repères que comme des éléments significatifs de l'histoire de la construction. Le fait que ce soit Notre-Dame de Paris qui soit citée pour « représenter » l'architecture (ou la période) gothique est de ce point de vue révélateur : si l'on cherche à marquer les débuts de l'architecture gothique, c'est la basilique de Saint-Denis qu'il faut citer ; si l'on veut marquer le sommet constructif et architectural de l'art gothique, c'est Beauvais qu'il faut choisir (comme le fait Salvadori³). Notre-Dame de Paris fait certes partie du « décor », comme la reconquête de Tolède ou Dante, mais pas principalement pour ce qu'elle représente en histoire de la construction.

N'apparaissent dans cette liste ni l'arc, ni la ferme triangulée, ni le béton armé, ni la poutre en I,

ou la précontrainte, les constructions en coques ou en voiles, les structures légères ou tendues, ...

Les noms de Hooke, Young, Navier, Lamé, Clapeyron ou Freyssinet ne sont pas cités ; Mariotte l'est, mais pas pour ses travaux de résistance des matériaux...

Est-ce à dire que l'histoire des sciences ne voit (pratiquement) pas l'histoire de la construction ? Pas tout à fait bien sûr et si il y a peu de relations entre elles, il faut naturellement préciser, quand il y en a, dans quels champs elles se nouent, de quels types elles sont, par quels acteurs elles se tissent et pour quels types de résultats.

2. L'histoire de la construction comme branche des sciences appliquées : la modélisation de problèmes pratiques

Lieu premier du croisement des champs est bien entendu la mécanique (dont l'histoire appartient à l'histoire des sciences), la statique, la résistance des matériaux, l'analyse du comportement des structures et les diverses tentatives de modélisations de ces comportement structurels.

Comme l'a écrit Benvenuto, jusqu'à Galilée, « c'est la géométrie – et non la mécanique – qui apparaissait comme la vraie gardienne de la stabilité »⁴. En témoignent les premières modélisations de la statique des arcs proposées par Leonard de Vinci (fig. 1) ; mais Derand, au milieu du XVII^e siècle, reprend encore dans son traité de coupe des pierres⁵ des tracés sans doute utilisés dès

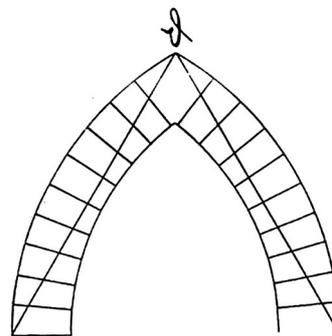


Fig. 1. La règle « de Léonard » assure que l'arc ne rompt pas si la corde de l'arc extérieur ne touche pas l'arc intérieur.

le Moyen Âge. (fig. 2) Le *Traité de mécanique* de Philippe de La Hire est considéré comme la première approche mathématisée de la construction des arcs et des voûtes. Cependant, d'un point de vue pratique, plus que le traité de 1695, c'est son mémoire « Sur la construction des voûtes dans les édifices »⁶ de 1712, qui aura le plus d'impact tout au long du XVIII^e siècle. (fig. 3) Le principe de base de l'étude, pour déterminer l'épaisseur des pié-

droits d'un arc clavé, consiste à subdiviser l'arc en trois parties et à équilibrer les moments des forces mises en jeu (en négligeant les forces de frottement). Reprise et approfondie par Bernard F. de Bélidor, Antoine Chézy ou Joseph Mathieu Sganzin, la théorie de Ph. de La Hire sera aussi vivement critiquée, en particulier par Emiland Marie Gauthey, qui considérerait comme arbitraire la tripartition de l'arc.

Mais l'innovation essentielle au XVIII^e siècle, concernant ces sujets, vient de l'usage du calcul infinitésimal. David Gregory donne la première démonstration de la relation entre la courbe en chaînette et la statique des arches à la toute fin du XVII^e siècle (fig. 4), Jacob Bernoulli démontre les propriétés de la chaînette en 1704 et Giovanni Poleni, consulté suite aux altérations de la structure du dôme de Saint-Pierre de Rome, propose une série de mesures pour arrêter la dégradation du bâtiment après avoir publié en 1748 un traité qui fait le point, de façon extrêmement complète, sur la science de la construction de l'époque⁷. Cette intervention marque sans doute la première application réussie d'une statique et d'une mécanique des structures maîtrisées sur un problème concret de construction.

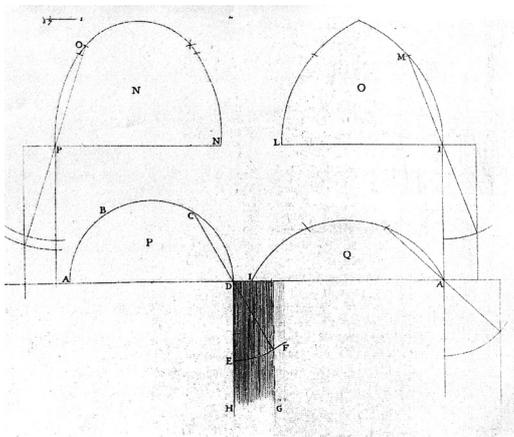


Fig. 2. La « règle de Derand » donne un dimensionnement des piédroits d'une voûte, indépendamment de leur hauteur.

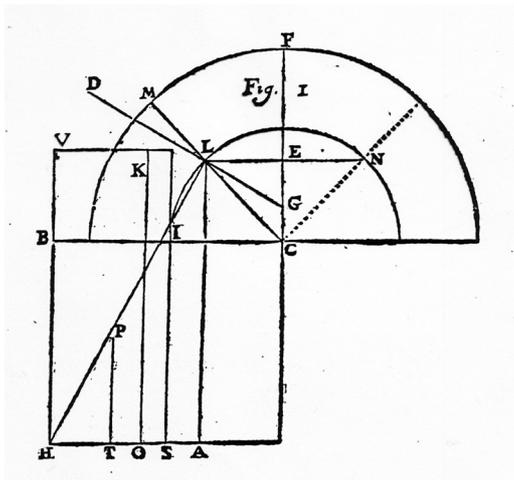


Fig. 3. Ph. de La Hire. Une application de la théorie du levier au dimensionnement des piédroits d'une voûte.

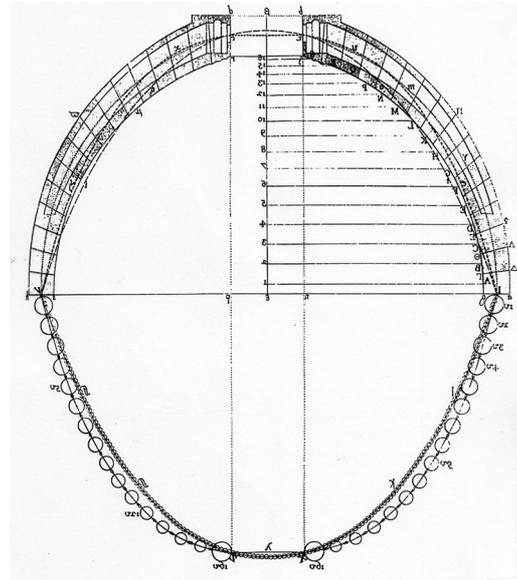


Fig. 4. Gregory la courbe en chaînette.

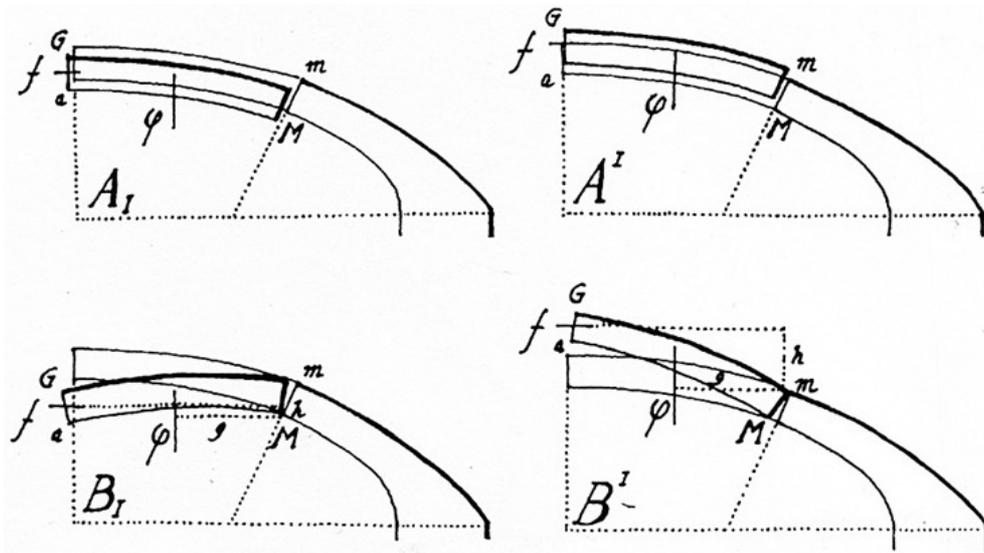


Fig. 5. Coulomb : La prise en compte du frottement.

À partir des années 1770, la théorie des arcs et des voûtes donne lieu à une importante littérature dont la contribution la plus importante est sans conteste celle de Charles Augustin Coulomb⁸. La prise en compte du frottement l'amène à envisager non plus seulement la possibilité de glissement des voussoirs les uns sur les autres, mais également la rotation possible des voussoirs à la clef, autour d'un axe appartenant soit à l'intrados, soit à l'extrados de l'arc. (fig. 5) Coulomb montre également que la coïncidence entre la courbe des pressions et celle des centres de gravité n'implique que cette courbe soit une chaînette que pour une voûte infiniment mince. Comme celle de la stabilité des arcs et des voûtes, l'histoire de la difficile prise en compte de l'élasticité dans la résistance des matériaux amène à croiser les travaux des plus célèbres mathématiciens du XVIII^e siècle, et en particulier ceux des Bernoulli et d'Euler. La longue liste des publications, au XVIII^e comme au XIX^e siècle, concernant les différentes applications du calcul infinitésimal à ces problèmes, prouve l'intérêt du monde savant pour le sujet.

L'histoire de ces modélisations successives, intéresse l'historien de la construction, car elle renseigne d'une part sur la compréhension que l'on

a à un moment donné de l'état de l'art, et d'autre part permet d'appréhender les ressorts éventuels de l'innovation technique qui pourraient être liés à cette compréhension. Cette histoire a d'ailleurs donné lieu à de nombreuses études, dont on peut en particulier souligner celles de Clifford Truesdell, de Jacques Heymann ou d'Edoardo Benvenuto, et celles de Stephen Timochenko pour l'histoire de la résistance des matériaux.

Ces points, bien connus, ne sont rappelés ici que pour souligner le fait que, dans les études citées ci-dessus, l'histoire de la construction apparaît comme une branche des sciences appliquées. Or ce point de vue n'épuise pas le sujet des relations histoire des sciences/histoire de la construction.

3. La théorisation de problèmes pratiques

Une autre façon de poser le problème est en effet d'inverser la question et chercher à savoir s'il existe des branches de théories scientifiques qui prennent leur source dans des problèmes d'histoire de la construction. Quels sont les problèmes pratiques, appartenant au monde de la construction, qui ont pu servir de base, de source d'inspiration, de moteur

à la formulation de théorie scientifique ? Quels sont les acteurs de ces théorisations, quels en sont les moments et les conditions institutionnelles ?

Huber Damisch, a écrit que, pour comprendre l'origine de la perspective, il faut reconstituer « le sol d'expériences pré-géométriques »⁹ des ateliers des peintres de la fin du Moyen Âge. Il s'agit pour nous de retrouver « le sol d'expériences préscientifiques » qui a constitué le terreau sur lequel le grand arbre de la science s'est développé, permettant à différentes branches de prendre naissance.

Dans un certain nombre d'études antérieures, nous avons essayé de montrer comment la géométrie descriptive naît à partir des pratiques et des tracés des tailleurs de pierre. L'objectif de ces travaux était de montrer la transformation d'une habileté manuelle en habileté intellectuelle, qui fournira la matrice des opérations géométriques utilisées dans les tracés des appareilleurs avant de se formaliser dans la géométrie descriptive¹⁰.

Cependant, pour que cet exemple soit tout à fait convainquant, il faut également montrer que la géométrie descriptive appartient pleinement à la géométrie savante. Or ce point de vue prête sûrement à polémique ; Gaspard Monge lui-même commence la présentation de ses cours de géométrie descriptive à l'École Normale de l'an III par ces mots : « cet art a deux objets... ». Ou encore dans une lettre à son gendre il écrit : « pour que [la géométrie descriptive] soit utile et qu'elle remplisse son véritable but, il faut qu'elle aille terre à terre. C'est l'engrais des champs qu'il ne faut pas jeter sur les arbres ; c'est la géométrie des ouvriers et des artistes ; c'est le fondement de l'industrie nationale et non l'objet des méditations des philosophes »¹¹. Mais malgré les déclarations explicites de son fondateur, et sans chercher à la situer entre art et sciences, nous pensons, comme Michel Chasles et bien d'autres à sa suite, que la géométrie descriptive appartient pleinement à l'histoire des sciences, et peut donc fournir un exemple de ce chemin d'une pratique vers une théorie.

La statique graphique (fig. 6) suit une histoire qui semble dans un sens assez parallèle à celle de la géométrie descriptive : Karl Culmann, après un voyage d'étude en 1849-50 aux États-Unis où il étudie les ponts en bois rédige un rapport en 1851 qui comporte une théorie graphique des poutres

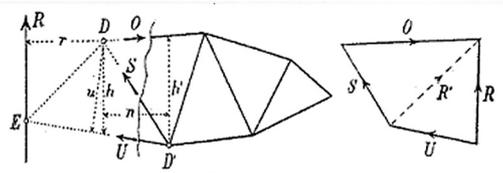


Fig. 6. La Statique graphique de K. Culmann.

en treillis. Il développe ensuite la statique graphique dans son enseignement au Polytechnicum de Zurich, prenant le contre-pied de la physique mathématique enseignée par des mathématiciens « qui idolâtraient l'abstraction et la généralisation et ont le réel en horreur »¹². Comme pour la géométrie descriptive, on voit une branche théorique qui naît et se développe, à partir de problèmes constructifs, à l'occasion d'un cours aux ingénieurs, avec cette même idée, sous jacente chez Monge et explicite chez certains de ses disciples, selon laquelle « le dessin est la langue de l'ingénieur ». On retrouve donc pour la statique graphique comme pour la géométrie descriptive un triptyque pratique/enseignement/théorie, d'une grande efficacité créatrice.

Un autre exemple est donné par un mémoire de Monge, qui reste dans le domaine de la géométrie mais sans rapport avec celui de la géométrie descriptive, le « Mémoire sur la théorie des déblais et remblais »¹³. Théorisant d'une façon extrêmement élégante un problème pratique auquel les officiers du Génie sont confrontés – minimiser les déplacements des terres lors de la construction des remblais – Monge débouche sur une étude qui participe de la théorie des surfaces réglées. Mais ce mémoire peut également être vu comme le premier travail de recherche opérationnel, branche des mathématiques qui se développera fortement après la Deuxième Guerre mondiale.

Bien d'autres situations restent à étudier dont par exemple la période qui précède les *Deux sciences nouvelles* de Galilée ; que ce passe-t-il exactement entre les intuitions de Leonard de Vinci et les concepts qui apparaissent ?

Toujours dans cette même veine, un objet d'étude qui semble pouvoir être extrêmement fécond, serait ces problèmes pratiques, qui sans déboucher nécessairement sur une théorie scienti-

fique complète ou nouvelle, agisse comme des stimulants intellectuels. Le cas de la chimie est un bon exemple de cette situation. Pourquoi le ciment se solidifie-t-il, comment peut-on expliquer les phénomènes de prise des différents mortiers et la solidité des constructions qui en résulte ? La question, et en particulier la recherche « du béton romain », passionne l'Europe savante au XVIII^e siècle, Lavoisier en tête. Mais la complexité sous-jacente au phénomène de prise des ciments – avec un principe de carbonatation décrit en 1813 et un principe de micro-cristallisation, décrit en 1884 par Le Chatelier – résistera jusqu'à la fin du XIX^e siècle aux chimistes. Sans être directement à la source d'une nouvelle théorie chimique, cette question a été un moteur de la recherche chimique dont le rôle vaudrait sûrement d'être précisé.

La problématique de la « problématisation » est souvent le fait d'acteurs spécifiques, dont l'imagination créatrice est visiblement stimulée par l'étude de problèmes tout à fait concrets (d'ailleurs pas nécessairement issus du domaine de la construction). On pense par exemple à Desargues, Wren, de La Hire, Monge,...

Mais au-delà du rôle d'individus isolés, celui des institutions peut être fondamental dans ce processus : celui des académies (par exemple de l'*Accademia della Vachia* à Florence au XVII^e siècle¹⁴) ou celui des écoles d'ingénieurs, qui ont déjà été largement étudiées¹⁵. Malgré ces études, il reste beaucoup à faire dans cette direction.

4. Les éléments « d'un décor commun » à l'histoire des sciences et l'histoire de la construction

On a beaucoup écrit sur « la méthode expérimentale en science » d'une part, et sur les expériences menées sur certains chantiers (en particulier autour du Panthéon de Paris) d'autre part. Mais « la méthode expérimentale en science » ne s'impose pas d'un coup de baguette magique avec Galilée. Et l'on sait peu sur ce que doit l'inscription de la méthode expérimentale en science aux expérimentations menées dans d'autres domaines, et en particulier celui qui nous intéresse ici.

L'histoire des relations histoire des sciences/histoire de la construction est aussi celle du mépris des théoriciens vis-à-vis des problèmes pratiques et du scepticisme des praticiens vis-à-vis des théories. À la suite de l'étude de Poleni citée ci-dessus, certains affirmèrent que « si on a pu concevoir, projeter et exécuter la coupole Saint-Pierre sans mathématiciens et notamment sans la mécanique dont on est si fortement entiché de nos jours, on pourra bien la restaurer aussi sans qu'il faille avoir recours en premier lieu aux mathématiciens et aux mathématiques »¹⁶. L'aphorisme d'un Tredgold selon qui « *the stability of a building is inversely proportional to the science of the builder* »¹⁷, ou le mémoire de Charles François Viel, intitulé *De l'impuissance des mathématiques pour assurer la solidité des batimens*, montrent également assez la façon dont furent reçus les premiers essais mathématisés de statique et de mécanique. Benvenuto utilise une très belle expression pour décrire cet état d'esprit : « avant les premières théories on avait que des solutions pour construire les voûtes, après on avait des problèmes ».

Or cette histoire là est encore pour une grande part à écrire.

Le récent ouvrage *La Colonne. Nouvelle histoire de la construction*, édité par Roberto Gargiani¹⁸, donne un bel exemple d'une direction d'étude encore trop peu explorée. Essai d'approche polymorphe de l'organe de support par excellence, il propose un tir croisé des différentes façons d'aborder ce sujet. Mais pour rester du strict point de vue qui nous intéresse ici, il présente non seulement les essais de modélisation du flambage des colonnes, mais également l'influence sur le style architectural qu'ont eu ces modélisations, vers la colonne dépouillée, sans base, etc. Ce type d'étude on l'on voit se mettre en place un dialogue entre la théorisation de problèmes constructifs et l'effet retour de cette théorisation sur l'architecture même reste exceptionnel.

Parce que les croisements entre histoire des sciences et histoire de la construction sont en fait assez rares, ils n'en sont que plus riches, et, en repartant des points de friction entre les deux disciplines connexes, offrent une façon de revisiter l'une comme l'autre. Par exemple, certains mémoires de statique ou de dynamique de

d'Alembert gagneraient à être vus par des spécialistes de résistance des matériaux, car l'attention des historiens des sciences est souvent focalisée sur les fondements de la mécanique ou les relations mathématiques-mécanique, mais les historiens des mathématiques eux-mêmes sont peu loquaces sur des aspects concrets d'applications éventuelles. Et même si ces aspects n'étaient pas premiers pour d'Alembert, ils n'en restent pas

moins intéressants pour la compréhension de ces textes. En d'autres termes, plus que par l'histoire de la modélisation ou celle de la théorisation de problèmes constructifs, c'est sans doute dans une dualité modélisation/théorisation, dans des allers-retours entre ces deux pôles que s'ouvre de la façon la plus riche un champ de recherche à l'intersection de l'histoire des sciences et de l'histoire de la construction.

NOTES

1. R. Taton (éd.), *Histoire générale des sciences*, Paris, PUF, 1^{re} éd. 1958, rééd. 1995.
2. Cette date correspond au 1^{er} cours de dessin de Monge à l'École du Génie de Mézières.
3. M. Salvadori, *Comment ça tient ?*, Marseille, Parenthèses, 2005 (trad. fr. de *Why Buildings Stand Up ? The Strength of Architecture*, New York, Norton, 1980).
4. E. Benvenuto, « Résistance des matériaux (histoire de la) » dans *L'Art de l'ingénieur*, A. Picon (éd.), Paris, Le Moniteur, 1997, p. 409.
5. F. Derand, *L'Architecture des voûtes ou l'art des traits et coupe des voûtes...*, Paris, 1643.
6. Présenté en 1712, publié dans les *Mémoires de l'Académie royale des Sciences*, Paris, 1731, p. 70-78.
7. *Memorie istoriche della grande cupola del Tempio Vaticano*, Padova, 1748.
8. Ch. A. Coulomb, « Essai sur une application des règles de maximis et de minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture » dans *Mémoires de mathématiques et de physique*, présentés à l'Acad. roy. des Sc., année 1773, Paris, 1776, p. 343-382.
9. H. Damisch, *L'Origine de la perspective*, Paris, Flammarion, 1987.
10. Voir J. Sakarovitch, *Épures d'architecture. De la coupe des pierres à la géométrie descriptive, XVI-XIX siècles*, Bâle, Birkhäuser, 1998.
11. Lettre inédite de Monge à Nicolas Joseph Marey, du 27 pluviôse an V (15 fév. 1797).
12. Henri Bouasse, cité par B. Lemoine, *L'Architecture du fer*, Seyssel, Champ Vallon, 1986, p. 40.
13. *Hist. Ac Sc.*, 1781, p. 666-704. Les résultats sont de 1776, présentés une première fois les 27 janv. et 7 fév. 1776, avec un rapport Bossut et Vandermonde ; Monge reprend le mémoire et le représente le 28 mars 1781 ; il sera publié en 1784.
14. Dans H. Schlimme (ed.), *Practice and Science in Early Modern Italian Building*, Electa, 2006.
15. On peut citer par exemple R. Taton, « L'École royale du génie de Mézières » dans R. Taton (éd.) *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1964, rééd. 1986, p. 559-613 ; A. Picon, *L'Invention de l'ingénieur moderne. L'École des Ponts et Chaussées, 1747-1851*, Paris, Presses des Ponts et chaussées, 1992 ; Belhoste, B., *La formation d'une technocratie. L'École polytechnique et ses élèves de la Révolution au Second Empire*, Paris, Belin, 2003.
16. Cité par F. Klemm dans *Histoire des techniques*, Paris, Payot, 1966.
17. T. Tredgold, *Practical Essay on the Strength of Cast Iron and other Metals*, 1822.
18. Aux Presses polytechniques et universitaires romandes.

